

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи *УДК 524.7-77*

Габдеев Максим Маратович

**Фотометрические, спектральные и поляриметрические
исследования магнитных катаклизмических переменных**

01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз — 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
и.о. заведующего Лаборатории
обеспечения наблюдений
Борисов Николай Владимирович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Ихсанов Назар Робертович,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Главная (Пулковская)
астрономическая обсерватория
Российской академии наук

кандидат физико-математических наук,
Буренин Родион Анатольевич,
Институт космических исследований
Российской академии наук

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
учреждение высшего образования
Казанский (Приволжский) федеральный
университет, г. Казань.

Защита состоится 21 апреля 2016 г. в 9:00 на заседании диссертационного совета Д 002.203.01 при Специальной астрофизической обсерватории РАН по адресу: 369167, Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский р-н, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 002.203.01, к.ф.-м.н.

Шолухова О. Н.

Общая характеристика работы

Поляры относятся к группе магнитных катаклизмических переменных. Это тесные двойные системы, находящиеся на поздней стадии эволюции. Они состоят из сильно замагниченного белого карлика ($B > 10^6$ Гс) и красного карлика позднего спектрального класса, заполняющего свою полость Роша. Вещество красного карлика покидает поверхность, через точку Лагранжа L1. Магнитосфера белого карлика сравнима с размерами системы, она управляет веществом, реализуется канализированный режим аккреции. Газ по магнитно-силовым линиям аккрецирует на один или оба магнитных полюса белого карлика. Вблизи поверхности белого карлика формируется аккреционная колонна, а в её основании горячее пятно. Аккреционная колонна является основным источником излучения полярных в оптическом диапазоне, несмотря на небольшие размеры ($h_{column} \sim 0.05 R_{wd}$). Горячее пятно излучает в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазоне, нагревая газ на поверхности красного карлика и в струе протекающего вещества. Таким образом, компоненты системы одновременно испытывают гравитационное, газодинамическое и электромагнитное взаимодействия. Излучение полярных – сильно переменное и регистрируется в широком диапазоне электромагнитного спектра: от рентгеновского (0.05-30 кэВ) до радио (~ 0.1 метра). Блеск полярных изменяется на шкале времени от секунд до нескольких лет. Быстрое (1-500 секунд) квазипериодическое изменение блеска системы, происходит вследствие неравномерной плотности аккреционного потока [1]. Орбитальные периоды всех катаклизмических переменных лежат в диапазоне от 70-80 минут до 8 часов. Периоды систем лежащие в промежутке от 2 до 3 часов практически не встречаются, потому что реализуются условия в которых останавливается аккреция вещества [2]. Интенсивность потока излучения в континууме зависит только от положения и ориентации области аккреции, которые меняются с орбитальным периодом. Вклад белого и красного карликов наблюдается только в низких состояниях, когда темп аккреции вещества значительно уменьшается из-за временной остановки заполнения полости Роша [3]. Переход в высокие и низкие состояния у полярных происходит спонтанно на временной шкале месяцы-годы, амплитуда в видимом диапазоне может достигать до 3^m [4]. При этом кривые блеска могут меняться как по амплитуде, так и по форме (см., например, [5]).

Основной особенностью полярных является наличие в оптическом диапазоне сильной переменной линейной и круговой поляризации излучения. Это обусловлено работой циклотронного механизма. При определенных условиях в видимом спектре объекта регистрируются циклотронные гармоники. Оптический спектр полярных содержит интенсивные линии водорода серии Бальмера,

нейтрального и ионизованного гелия. Линия $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$ в полярах сравнима по интенсивности с линией водорода H_{β} [6, 7]. Профили эмиссионных линий сильно переменны и отражают многокомпонентность структуры области их формирования. На данный момент известно 136 полярных, представленных в каталоге Риттера и Колба [8]. Они все обладают характерными особенностями, которые перечислены выше, но при этом каждый представитель этой группы индивидуален в своих наблюдательных проявлениях [9].

Актуальность задачи

Как отмечено выше, белый карлик в полярах сильно замагничен. Напряженность магнитного поля достигает значений порядка $10^7 - 10^8$ Гс и определяет многие наблюдательные проявления этих объектов. Это даёт возможность исследовать излучение плазмы в сильных магнитных полях, которые невозможно воспроизвести в земных лабораториях. Важным аспектом таких исследований является определение фундаментальных параметров компонентов системы и аккреционной структуры. Вторичный компонент системы представляет большой интерес для проверки наших представлений о внутреннем строении и эволюции звезд Главной Последовательности, в случае когда масса звезды не сохраняется, а её радиус ограничен критической полостью Роша.

Цели и задачи исследования

Целью работы является определение фундаментальных параметров, таких как орбитальный период, угол наклона орбиты к лучу зрения, массы белого и красного карликов, большая полуось орбиты, напряженность магнитного поля для выборки новых полярных. А также исследовать аккреционную структуру, анализируя характеристики областей формирования эмиссионных линий. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- Провести фотометрические, спектральные и поляриметрические наблюдения кандидатов в поляры на телескопах БТА и Цейсс-1000 САО РАН и обработать их результаты. Уточнить класс объектов по полученным наблюдениям.
- На основе анализа спектральных и фотометрических данных определить фундаментальные параметры исследуемых систем. Построить доплеровские карты областей излучения эмиссионных линий для исследуемых объектов при помощи программы Спруита Дорнар [10].
- Выделить вклад циклотронного излучения объекта CRTS CSS081231 J071126+440405, провести теоретическое моделирование для дальнейшего определения напряженности магнитного поля белого карлика.

- Исследовать возможность моделирования эффектов переизлучения по двухпиковым эмиссионным линиям в объектах CRTS CSS081231 J071126+440405 и BS Tri.

Научная и методическая новизна

- Впервые, на основе поляриметрических наблюдений, на телескопе БТА было открыто два новых поляра, для четырех объектов была подтверждена их классификация как поляров.
- В работе проводился комплексный анализ фотометрических, спектральных и поляриметрических наблюдений объектов, полученных на телескопах САО РАН.
- Определены физические параметры компонент в трех исследованных системах. Для двух систем построены теоретические спектры эффектов переизлучения на поверхности вторичной компоненты, что позволило определить параметры компонент системы с большей точностью.
- Впервые наблюдался переход спектра объекта CRTS CSS081231 J071126+440405 в новое состояние на шкале времени сутки. Произошло изменение наклона континуума и форма профилей эмиссионных линий. Сделан вывод, что произошли локальные изменения структуры аккреционного потока.

Научная и практическая значимость

- По фотометрическим данным, полученными в период с 2010 по 2015 гг., были найдены или уточнены орбитальные периоды 4 систем. Фотометрические наблюдения затмения объекта CRTS CSS081231 J071126+440405 на телескопе БТА позволили определить его длительность (~ 450 секунд) и получить границы возможных значений угла наклона системы.
- Посредством анализа спектральных данных определены физические параметры трех исследованных систем. Для систем CRTS CSS081231 J071126+440405 и BS Tri был выделен вклад излучения эмиссионных линий, формирующихся на поверхности вторичной компоненты. Для определения скорости орбитального движения вторичного компонента использованы теоретические модели спектров с эффектом переизлучения.
- Показана высокая эффективность метода поляриметрических наблюдений, реализованного на телескопе БТА, при поиске круговой поляризации излучения у объектов до 20^m . Все исследуемые объекты были впервые классифицированы как поляры по поляриметрическим данным.

- Создана программа, для построения модельных спектров циклотронных гармоник. Путем сравнения модельных и наблюдаемых спектров циклотронных гармоник найдены параметры аккреционной колонны объекта CRTS CSS081231 J071126+440405.
- Получены ряды спектральных данных 3 объектов, по которым были построены доплеровские карты. Основными областями формирования эмиссионных линий являются струя аккрецирующего вещества и область переизлучения на поверхности красного карлика. Показано, что дисковая аккреция в данных системах отсутствует.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Результаты поляриметрических наблюдений на телескопе БТА САО РАН, на основании которых шесть катаклизмических переменных были классифицированы как поляры. Показано, что их излучение обладает сильной круговой поляризацией (до 30%). У 4 объектов из выборки зарегистрирована смена знака круговой поляризации на протяжении орбитального периода, свидетельствующая об аккреции на оба магнитных полюса белого карлика.
2. Результаты фотометрических наблюдений, определение периодов орбитального движения 4 систем, обнаружение долговременной переменности объекта IPHAS J052832.69+283837.6.
3. Результаты спектральных наблюдений, определение фундаментальных параметров нескольких систем, а также их доплеровские карты, построенные по основным эмиссионным линиям.
4. Результаты сравнительного анализа линий и теоретических моделей циклотронного излучения, обнаруженных в спектрах объекта CRTS CSS081231 J071126+440405. В ходе которого были получены параметры аккреционной колонны: $B = 31 - 34$ МГц, $T_e = 10 - 12$ кэВ, $\Theta = 80 - 90^\circ$ и $\Lambda = 10^5$.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на следующих российских и международных конференциях и семинарах:

1. Международная конференция “The Present and Future of Small and Medium Size Telescopes”, пос. Нижний Архыз, Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 19-22 октября 2015 г.
2. Международная конференция “Astronomical polarimetry”, Grenoble, France, 26-30 мая 2014 г.

3. Международная конференция “Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes” Tatranská Lomnica, Slovakia, 23-26 сентября, 2013 г.
4. Всероссийская молодежная астрономическая конференция “Наблюдаемые проявления эволюции звезд”, пос. Нижний Архыз, Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 15 - 19 октября 2012 г.
5. Международная конференция “Звёздные атмосферы: фундаментальные параметры звезд, химический состав и магнитные поля”, пос. Научный, Крымская астрофизическая обсерватория, 10-14 июня 2012 г.
6. Международная молодежная конференция “19th Young Scientists Conference on Astronomy and Space Physics”, Киев, Киевский НГУ, 25-30 апреля 2012 г.
7. Ежегодная конкурс-конференции САО РАН посвященная дню науки, 2014-2015 гг.
8. Общий астрофизический семинар САО РАН
9. Астрофизический семинар Кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета

Публикации

Материалы диссертации опубликованы в шести рецензируемых журналах (рекомендованных ВАК и индексируемых WoS). Основные результаты изложены в следующих статьях:

1. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimanskiy, N. A. Katysheva, A. I. Kolbin, S. Yu. Shugarov, V. P. Goranskiy. “Photometric and Spectral Studies of the Eclipsing Polar CRTS CSS081231 J071126+440405”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 71, Issue 1, pp. 101-113, 2016
2. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. L. Afanasiev. “Photopolarimetric Observations of the Sample of Polar Candidates”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 71, Issue 1, pp. 95-100, 2016
3. M. M. Gabdeev. “Photometric Monitoring of Polar Candidates”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 70, Issue 4, pp. 460-465, 2015
4. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimansky, N. A. Katysheva, S. Yu. Shugarov. “Spectroscopic Study of the Polar BS Tri”, *Astronomy Letters*, Volume 41, Issue 11, pp. 646–659, 2015
5. V. L. Afanasiev, N. V. Borisov, M. M. Gabdeev. “Polarimetric Observation of the New Polar USNO-A2.0 0825-18396733”, *Astrophysical Bulletin*, Volume 70, Issue 3, pp. 328-332, 2015

6. M. M. Gabdeev, N. V. Borisov, V. V. Shimanskiy, O. I. Spiridonova. “Spectral and Photometric Studies of the Polar USNO-A2.0 0825-18396733”, Astronomy Reports, Volume 59, Issue 3, pp. 213-220, 2015

Личный вклад автора

Автор принимал участие в постановке целей исследования и получении наблюдательных данных. Обработка наблюдательных данных полностью проводилась автором работы. Анализ и интерпретация результатов, подготовка текстов статей выполнялись совместно с соавторами.

Содержание и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы. Объем работы — 104 страницы печатного текста, включая 46 рисунков и 5 таблиц.

Во **Введении** дается общая характеристика работы, обосновывается актуальность исследования, приводятся цели и задачи, формулируется научная новизна и научная и практическая ценность; формулируются результаты, выносимые на защиту, приводится список конференций и работ, где были представлены результаты диссертации, описывается степень личного вклада автора, краткое описывается содержание диссертационной работы.

В **Главе 1** приводится история открытия полярнов, описываются основные наблюдательные свойства полярнов во всем диапазоне длин волн (**Раздел 1.1**), с более детальным обсуждением их поведения в видимом диапазоне электромагнитного спектра. **Раздел 1.2** посвящен историческим и современным представлениям о модели аккреции вещества в полярвах. Перечисляются основные каталоги и обзоры, которые способствуют обнаружению новых катаклизмических переменных(**Раздел 1.3**).

Глава 2 посвящена описанию метода поляриметрических наблюдений на телескопе БТА САО РАН, их обработке и последующему анализу. В **Разделе 2.1** описывается методика получения поляриметрических данных на приборе SCORPIO-2 [11]. Представлены формулы для определения круговой поляризации объекта. Также обсуждается метод контроля за точностью получаемых измерений. **Раздел 2.2** главы посвящен результатам исследования 6 объектов. Представлены первые поляриметрические наблюдения шести катаклизмических переменных: MT Dra, 1RXS J184542.4+483134, USNO-A2.0 0825-8396733, CRTS CSS081231 J071126+440405, IPHAS J052832.69+283837.6 и CRTS CSS130604 215427+155714. Наблюдения в полосе V показали, что все объекты обладают значительной степенью круговой поляризации (до 30%). У четырех объектов

меняется знак поляризации в течение орбитального периода, что говорит об активности обоих магнитных полюсов белого карлика. Поляризация излучения CRTS CSS130604 215427+155714 не меняет знак в течении орбитального периода, оставаясь отрицательной. У USNO-A2.0 0825-8396733 не зафиксирована смена знака, в связи с отсутствием данных на фазах, близких к минимуму блеска. Системы V834 Cen [12] и RX J1313.32-3259 ([13]) имеют схожие по форме с USNO-A2.0 0825-8396733 кривые блеска и круговой поляризации. У обеих систем на фазах минимума блеска происходит ослабление круговой поляризации. Авторы предполагают, что происходит затмение области циклотронного излучения аккреционной структурой. При этом у RX J1313.32-3259 наблюдается изменение знака круговой поляризации, но только в синем диапазоне и в белом свете. Таким образом, остается открытым вопрос о смене знака круговой поляризации в момент минимума блеска USNO-A2.0 0825-8396733. Объект 1RXS J184542.4+483134 наблюдался в двух состояниях блеска в 2011 и в 2012 гг. Ослабление блеска системы сопровождалось увеличением вклада циклотронного излучения в общий блеск системы и, следовательно, амплитуды изменения круговой поляризации. В заключении главы делается вывод о принадлежности исследованных систем к классу полярных звезд.

В **Главе 3** представлены фотометрические исследования 4 полярных звезд по данным полученным на телескопе Цейсс-1000 САО РАН. **Раздел 3.1** содержит информацию о телескопе Цейсс-1000, штатном фотометре и проведенных наблюдениях. Показаны изображения площадок с отмеченными объектом исследования и опорной звездой. Дана таблица с информацией об опорных звездах для каждого объекта и журнал наблюдений с 2010 по 2015 гг. **Раздел 3.2** посвящен исследованию объектов: USNO-A2.0 0825-8396733, 1RXS J073346.0+261933, IPHAS J052832.69+283837.6 и CRTS CSS130604 215427+155714. Для каждого из них проводился анализ временных рядов звездных величин методом Лафлера-Кинмана [14] с целью определения орбитального периода системы и построения эфемериды объекта. Все системы обладают сильной орбитальной переменностью блеска с амплитудой выше 1^m . Многоцветная фотометрия полярной звезды USNO-A2.0 0825-8396733, показала, что орбитальные кривые блеска имеют одинаковую форму в полосах B, V, R_c . Система имеет красный цвет $(V - R_c) = (B - R_c) = 1^m$. Измеренные расстояния до катаклизмических переменных редко превышают 1кпк [15], и покраснение не объясняется межзвездным поглощением. По всей видимости, на полосе R_c приходится максимум циклотронного излучения в видимом диапазоне, наличие которого косвенно подтверждается сильной круговой поляризацией излучения объекта. У 1RXS J073346.0+261933 и IPHAS J052832.69+283837.6 наблюдалась долговременная переменность блеска. Если первый объект не показал изменений форм и амплитуды кривых блеска с из-

менением среднего блеска системы, то у второго не только изменились формы кривых блеска, появился вторичный максимум и увеличилась амплитуда переменности, но и поменялся цвет системы. В 2015 г. с увеличением блеска объекта, показатель цвета ($B - R_c$) уменьшался. Провалы, обнаруженные на кривых блеска 1RXS J073346.0+261933 и IPHAS J052832.69+283837.6, часто связаны с затмением аккреционной структуры более холодной область струи перетекающего вещества и повсеместно встречаются в кривых блеска полярков. Изменение блеска CRTS CSS130604 215427+155714 с орбитальным периодом происходит квазисинусоидально и не имеет выраженных особенностей. За полгода фотометрических наблюдений объект не изменил состояние блеска.

В **Главе 4**, посвященной спектральным исследованиям, содержатся разделы о наблюдениях и обработке трех систем: USNO-A2.0 0825-8396733, BS Tri и CRTS CSS081231 J071126+440405. В **Разделе 4.1** описывается режим спектральных наблюдений с длинной щелью приборов SCORPIO [16] и SCORPIO-2 [11]. Результаты анализа спектральных данных полярка USNO-A2.0 0825-8396733 представлены в **Разделе 4.2**. В спектрах объекта наблюдаются однопиковые эмиссионные линии водорода, гелия и высокоионизованных тяжелых элементов, характерные для излучения полярков с рентгеновским облучением вторичного компонента. Профили эмиссионных линий состоят из нескольких компонент. Для построения кривой лучевых скоростей была выделена узкая компонента с высокой амплитудой смещения пика в шкале длин волн. На основе анализа лучевых скоростей и предшествовавших фотометрических данных были получены оценки массы белого карлика $M_1 \sim 0.75M_\odot$, красного карлика $M_2 \sim 0.19M_\odot$ и угла наклона системы $i \sim 80^\circ$. Построенные карты доплеровской томографии и кривые лучевых скоростей указывают на расположение основной области излучения линий H_β и $HeII \lambda 4686\text{\AA}$ на поверхности вторичного компонента. В **Разделе 4.3** представлены спектральные наблюдения катаклизмической переменной BS Tri. Они показали, что спектры имеют плоский континуум с наложенными на него сильными эмиссионными линиями водорода и нейтрального гелия, боуэновской бленды и сравнимой по интенсивности с водородными линией $HeII \lambda 4686\text{\AA}$. Их профили имеют сложную форму и переменны в шкале фаз орбитального периода системы. Анализ формы профилей выявил наличие в ней двух компонент, имеющих различные значения лучевых скоростей и связанных с облучаемой поверхностью вторичного компонента и потоком вещества, перетекающего с него на белый карлик. Сравнение блеска системы, интенсивностей эмиссионных линий и их лучевых скоростей в 2011 и 2012 гг., показало что при неизменном блеске системы области формирования всех линий уменьшили свою скорость. При этом изменился бальмеровский декремент, со значительным ослаблением линии H_α , а линии

$HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$ усилились с одновременным ослаблением линий HeI . Таким образом, баланс $HeI/HeII$ сместился в сторону более высокой стадии ионизации. Использование спектров достаточно высокого разрешения и значительное разделение компонент линии $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$ в интервале фаз $\varphi = 0.2 - 0.6$ позволило нам получить набор лучевых скоростей вторичного компонента. На их основе с применением эволюционных треков звезд Главной Последовательности был найден набор динамических параметров BS Tri: $M_1 = 0.75 \pm 0.02 M_\odot$, $M_2 = 0.16 \pm 0.02 M_\odot$, $R_2 = 0.18 \pm 0.02 R_\odot$, $A = 0.74 \pm 0.05 R_\odot$. Доплеровские карты, построенные по линиям H_α , H_β , $HeII\ \lambda 4686\text{\AA}$, $HeI\ \lambda 5876\text{\AA}$, не показывают наличия даже слабой дисковой аккреционной структуры, подтверждая принадлежность BS Tri к классу полярных звезд. Окончательное подтверждение такой классификации должно быть сделано на основе поляриметрических наблюдений объекта. Из результатов доплеровского картирования следует, что основные области образования эмиссионных линий связаны с действием эффектов переизлучения на поверхности вторичного компонента и излучения плазмы в оптически тонких частях струи аккрецируемого вещества. В обоих случаях степень поляризации излучения в линиях может быть достаточной большой, что делает перспективными спектрополяриметрические наблюдения объекта.

Итог работы по исследованию полярной звезды CRTS CSS081231 J071126+440405 представлен в **Разделе 4.4**. В спектрах объекта, типичных для катаклизмических переменных, присутствуют эмиссионные линии H I, He I, He II. Объект наблюдался в последовательные ночи 20 и 21 сентября 2001 г. Наблюдаемые изменения вида спектров и профилей эмиссионных линий говорят о том, что в эти ночи произошли изменения геометрии областей формирования эмиссионных линий и распределения энергии в оптическом спектре объекта. Анализ доплеровских карт показал, что во время наблюдений 20.09.11 эмиссионные линии формировались в основном на поверхности вторичного компонента, красного карлика, что подтверждается появлением на фазах $\varphi = 0.34 - 0.49$ красных пиков в профилях линий. Сутками позже (21.09.11), эта область перестала доминировать, появилась другая область, расположенная на доплеровских картах вблизи $V_x = -500$ км/сек. Вероятно, что возникновение этой дополнительной области разреженного газа ответственно за появление компонент поглощения в профилях эмиссионных линий H I, He I и He II в фазах орбитального периода $\varphi = 0.84 - 0.95$ в ночь 21.09.11. В расчетах параметров системы использовались полуамплитуда лучевых скоростей, измеренная по линии H_α и её поправка на центр массы красного карлика, рассчитанная по модельным спектрам эффектов переизлучения, а также продолжительность затмения. В итоге получены следующие параметры: $M_1 = 0.86 \pm 0.08 M_\odot$, $M_2 = 0.18 \pm 0.02 M_\odot$, $q = 0.21 \pm 0.01$, $R_{L2} = 0.20 \pm 0.03 R_\odot$, $A = 0.8 \pm 0.03 R_\odot$. Сравнение теоретического

спектра красного карлика со спектром, полученным в затмении, подтвердило надежность определения параметров и использованного метода. Сравнение наблюдаемых линий циклотронного излучения с теоретическими позволило оценить параметры аккрецирующей структуры вблизи поверхности белого карлика: $B = 31 - 34$ МГц, $T_e = 10 - 12$ кэВ, $\theta = 80^\circ - 90^\circ$ и $\Lambda = 10^5$, где B – напряженность магнитного поля, T_e – температура плазмы, θ – угол наклона магнитной оси к лучу зрения и Λ – безразмерный параметр, зависящий от геометрической толщины излучающей области.

В Заключение суммированы основные результаты работы.

В Списке литературы дан перечень публикаций, цитируемых и используемых в работе.

Список литературы

1. I. R. Tuohy, K. O. Mason, G. P. Garmire, and F. K. Lamb, *Astrophys. J.* **245**, 183 (1981).
2. S. B. Howell, *Publ. Astron. Soc. Japan* **53**, 675 (2001).
3. M. Livio and J. E. Pringle, *Astrophys. J.* **427**, 956 (1994).
4. B. Kalomeni, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **422**, 1601 (2012).
5. Z. Dai, S. Qian, and L. Li, *Astrophys. J.* **774**, 153 (2013).
6. N. F. Voikhanskaya, *Soviet Astronomy Letters* **13**, 250 (1987).
7. J. Patterson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 209 (1994).
8. H. Ritter and U. Kolb, *Astron. and Astrophys.* **404**, 301 (2003).
9. B. Warner, *Cambridge Astrophysics Series* **28** (1995).
10. H. C. Spruit, *ArXiv Astrophysics e-prints* (1998).
11. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Baltic Astronomy* **20**, 363 (2011).
12. M. Cropper, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **236**, 935 (1989).
13. K. J. van der Heyden, S. B. Potter, and D. A. H. Buckley, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **333**, 241 (2002).
14. J. Lafler and T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965).
15. J. Bailey, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **197**, 31 (1981).
16. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005).

Бесплатно

Габдеев Максим Маратович

Фотометрические, спектральные и поляриметрические исследования
магнитных катаклизмических переменных. Заказ №198с Уч. изд. л. – 1.0

Тираж 100

САО РАН